



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

21 Aktenzeichen: 101 49 750.4  
22 Anmeldetag: 9. 10. 2001  
43 Offenlegungstag: 19. 9. 2002

66 Innere Priorität:

101 11 503. 2 09. 03. 2001  
101 12 536. 4 15. 03. 2001

71 Anmelder:

tecmath AG, 67661 Kaiserslautern, DE

74 Vertreter:

WAGNER & GEYER Partnerschaft Patent- und  
Rechtsanwälte, 80538 München

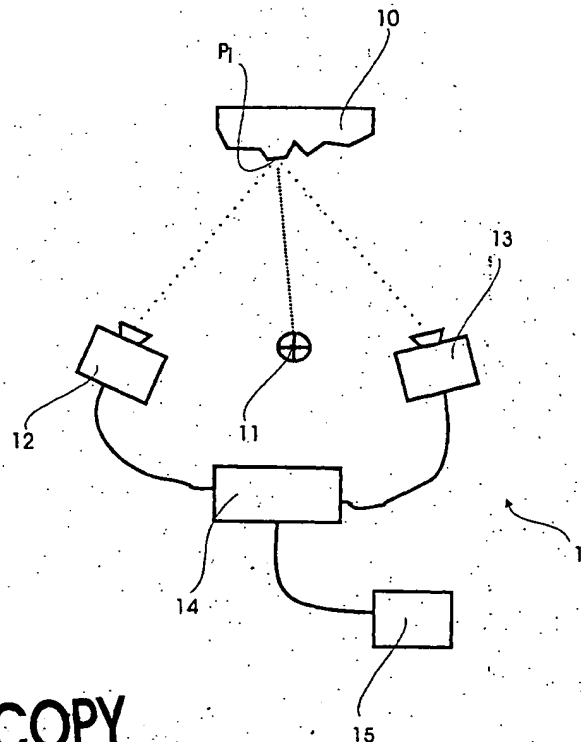
72 Erfinder:

Hanfeld, Helmut, 67663 Kaiserslautern, DE; Harven,  
Quido, 67677 Altenhof, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Handgeführter 3D-Scanner

57 Bei einem Verfahren und einer Vorrichtung zur Durchführung eines Messvorgangs zum mindestens teilweisen Erfassen und Vermessen einer Oberfläche von mindestens einem dreidimensionalen Objekt (10) oder von beliebigen Flächen, wobei mittels einer Lichtquelle (11) ein Lichtmuster auf dadurch beleuchtete Teilbereiche des Objektes (10) oder der Fläche projiziert wird und mittels mindestens zwei bildgebenden Einheiten (12, 13) von unterschiedlichen Positionen aus, derart, dass das Lichtmuster in dem überlappenden Sichtbereich der mindestens zwei bildgebenden Einheiten (12, 13) liegt, jeweils zweidimensionale Bildinformationen der zu vermessenden Objekt-oberfläche geliefert werden und aus der zweidimensionalen Bildinformation dreidimensionale Objektinformationen ermittelt werden, ist es wünschenswert, eine flexible Anwendung, ein leicht vergrößer- bzw. verkleinerbares Scanvolumen und die Möglichkeit das Objekt gezielt und selektiv innerhalb des Scanvolumens vermessen zu können. Dies wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren und der Vorrichtung dadurch erreicht, dass die beleuchteten Teilbereiche von den mindestens zwei bildgebenden Einheiten (12, 13) gleichzeitig beobachtet werden, die von den bildgebenden Einheiten (12, 13) durch die Beobachtungen gewonnene jeweilige zweidimensionale Bildinformation an eine Recheneinheit (14) übertragen wird, die Recheneinheit (14) aus den zweidimensionalen Bildinformationen kontinuierlich sowohl durch eine Selbstkalibrierung ...



[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung räumlicher Information von Objekten nach dem Oberbegriff des Vorstands- und des Vorrichtungshauptanspruches.

5

## Stand der Technik

[0002] Systeme zur dreidimensionalen Vermessung von Objekten sind bereits seit längerem Stand der Technik. Auf Basis bildgebender Sensoren lassen sich vor allem zwei Messprinzipien unterscheiden: die passive Stereoskopie und die optische Triangulation.

[0003] Die passive Stereoskopie zeichnet sich besonders durch ihre hohe Flexibilität aus. Im einfachsten Fall reichen zwei Bilder vom Objekt aus, um eine dreidimensionale Rekonstruktion zu berechnen. Dazu wird automatisch oder interaktiv durch den Benutzer nach korrespondierenden Bereichen in beiden Bildern gesucht. Je mehr korrespondierende Bereiche in beiden Bildern gefunden werden, umso besser kann das erfasste Objekt rekonstruiert werden. Bei homogenen Oberflächen schlägt die Korrespondenzpunktsuche schnell fehl, da keine eindeutige Zuordnung korrespondierender Bereiche mehr gefunden wird. Zudem führen unterschiedliche Beleuchtungen oder kleinere Bildfehler schnell zu Fehlzuordnungen, so dass die rein passiven Stereoskopieverfahren insgesamt als relativ ungenau angesehen werden können.

[0004] Sehr viel genauer und damit zuverlässiger arbeiten bekannte Triangulationssensoren. Eine strukturierte Lichtquelle wird in fester, bekannter Anordnung mit einem bildgebenden Sensor gekoppelt. Die Struktur der im Bild aufgenommenen Lichtreflexion auf dem Messobjekt sowie die Parameter des Sensors erlauben die Berechnung von dreidimensionalen Koordinaten. Im einfachsten Fall wird ein punktförmiger Lichtstrahl, z. B. ein Laser, mit einem linearen CCD-Chip kombiniert. Der Ort der Lichtpunktreflexion auf der CCD-Linie ist dann proportional zur gemessenen Entfernung. Die Verbindung einer Laserlinie mit einem flächigem CCD-Array ermöglicht die Berechnung einer Profillinie über das Objekt. Durch den Einsatz von strukturierten Lichtmustern oder sequentiell codierten Linienmustern können in einer Aufnahme komplette Tiefenbilder des Objektes in hoher Genauigkeit und Auflösung generiert werden. Die feste Kopplung zwischen Lichtquelle und Bildsensor begrenzt allerdings den zur Verfügung stehenden Messbereich. Nur Bereiche auf dem Objekt, die sowohl von der Lichtquelle bestrahlt, als auch vom Bildsensor erfasst werden, können vermessen werden. Hinterschneidungen führen zu Abschattungen, spiegelnde Oberflächen führen aufgrund von auftretenden Reflexionen zu systematischen Fehlmessungen.

[0005] Mit einem relativ neuen Messprinzip, der aktiven Stereoskopie, wird versucht die Vorteile beider Verfahren zu kombinieren, bei gleichzeitiger Elimination der Nachteile. Die eigentliche Bildaufnahme und Auswertung erfolgt stereoskopisch. Die Suche von korrespondierenden Bereichen in den Bildern wird durch die Projektion von strukturiertem Licht unterstützt. Die Identifikation der beleuchteten Bereiche und die Zuordnung von Bereichen mit gleichen Lichtmustern führt zur Berechnung von dreidimensionalen Objektkoordinaten. Bisher realisierte Verfahren gehen allerdings noch einen Kompromiss bezüglich der Anordnung der bildgebenden Sensoren und des verwendeten strukturierten Lichtes ein.

[0006] In der DE 195 34 415 wird ein aktives Stereoskopieverfahren beschrieben, bei dem die Anordnung der Kameras zueinander zwar beliebig ist, die Lageparameter der Kameras werden allerdings explizit über einen Kalibrierkörper berechnet, so dass auch nur im Bereich des Kalibrierkörpers eine zuverlässige Objektvermessung durchgeführt werden kann. Zudem wird für die Objektvermessung ausschließlich eine punktförmige Lichtquelle vorgesehen, die durch eine mechanische Ablenkeinheit gesteuert wird. Aufgrund der punktförmigen Lichtquelle ist die Aufnahmegeschwindigkeit auf einen Objektpunkt pro Bild begrenzt. Mit der mechanischen Ablenkeinheit wird der Lichtpunkt zeilenweise über das Objekt geführt und somit wird das Objekt systematisch abgescannt. Dieses Verfahren vereinfacht zwar die Bildverarbeitung, da die vermutliche Lage des Bildpunktes zu jedem Zeitpunkt bekannt ist, allerdings werden so auch viele Punkte erfasst, die in nicht relevanten oder wenig strukturierten Bereichen des Objektes liegen und zur eigentlichen Objektrekonstruktion nicht beitragen. Zudem beschränkt sich der erfassbare Bereich auf dem Objekt auf die Orte, die gleichzeitig von beiden Bildsensoren erfasst werden und von der Lichtquelle beleuchtet werden. Es werden keine Verfahren zur Vergrößerung des Sichtfeldes oder zur Rundumerfassung angegeben. Mehr als zwei Kameras dienen lediglich zur Erhöhung der Genauigkeit oder zur Vermeidung von Abschattungen.

[0007] In "Bestimmungen von Entfernungsbildern durch aktive stereoskopische Verfahren" von Ralph Sasse werden Verfahren zur aktiven Stereoskopie beschrieben, bei denen die Lage der Lichtquelle nicht fest vorgegeben ist und nach jedem Messvorgang variiert werden kann. Der Einsatz von farbigen, bunten Linienmustern erlaubt zudem die Generierung von Tiefenbildern im Rahmen einer einzigen Aufnahme. Allerdings wird auch dieses System durch einen Kalibrierkörper vorkalibriert. Zudem sind die Aufnahmekameras mechanisch miteinander gekoppelt, so dass der zur Verfügung stehende Messbereich durch die Anordnung der Kameras eingeschränkt ist und nur kleine Objekte von wenigen Dezimetern erfasst werden können.

[0008] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es eine Erfassungsvorrichtung und Verfahren für Objekte vorzusehen die flexibel in der Anwendung sind, ein leicht vergrößer- bzw. verkleinerbares Scanvolumen aufweisen und mit denen das Objekt gezielt und selektiv innerhalb des Scanvolumens vermessen werden kann.

[0009] Die Aufgabe wird durch das erfindungsgemäße Verfahren und Vorrichtung mit den in Anspruch 1 und 31 aufgeführten Merkmalen gelöst, insbesondere dadurch, dass

die beleuchteten Teilbereiche von den mindestens zwei bildgebenden Einheiten gleichzeitig beobachtet werden, die von den bildgebenden Einheiten durch die Beobachtungen gewonnene jeweilige zweidimensionale Bildinformation an eine Recheneinheit übertragen wird,

die Recheneinheit aus den zweidimensionalen Bildinformationen kontinuierlich sowohl durch eine Selbstkalibrierung Kalibrierinformation für die bildgebenden Einheiten als auch dreidimensionale Objektinformationen berechnet, und

die relative Positionierung der Lichtquelle zu dem Objekt während des Beobachtens verändert wird um verschiedenen Teilbereiche des Objektes zu beleuchten.

[0010] Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, dass eine vollständige mechanische Ent-

kopplung von Lichtquelle und Aufnahmetechnik in dem aktiven Stereoskopieverfahren der vorliegenden Erfindung gegeben ist. Dadurch ist ein selektives Ausleuchten und Erfassen von Teilbereichen des Objektes, die eine höhere Detaildichte hat oder von größerer Bedeutung sind, möglich. Bereiche ohne relevante Informationen somit gezielt ausgelassen werden.

[0011] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird die Lichtquelle manuell mit der Hand geführt. Der Benutzer kann dann ganz gezielt das Objekt entsprechend der gewünschten Detailgenauigkeit anstrahlen und vermessen. Bereiche mit vielen oder wichtigen Details werden feiner angestrahlt, Bereiche ohne relevante Information können grob angestrahlt werden.

[0012] Die kontinuierliche Selbstkalibrierung des in der vorliegenden Patentschrift vorgestellten Verfahrens erlaubt die höchstmögliche Flexibilität bei der Aufstellung und Dimensionierung des Systems.

[0013] Die kontinuierliche Selbstkalibrierung führt außerdem mit zunehmender Zahl von durch die Kameras erfassten Korrespondenzen zu einer ständigen Verbesserung der Kalibrierung, die bis auf einen Skalierungsfaktor eindeutig ist.

[0014] Die Zahl und Lage der Kameras ist beliebig, es sind wenigstens zwei Kameras notwendig. Über zusätzliche Kameras kann der zur Verfügung stehende Messraum beliebig konfiguriert werden.

[0015] Wenn kleine Objekte erfasst werden sollen, werden die Kameras dicht zusammen gestellt, bei größeren Objekten werden die Kameras weit auseinander gestellt. Der Messbereich lässt sich zur Erreichung optimaler Ergebnisse einfach und individuell auf das Messobjekt einstellen. Die Größe des Messbereichs wird prinzipiell nur noch durch die Intensität der Lichtquelle begrenzt. Die Lage der Kameras wird während der Messung als integraler Bestandteil der Messung berechnet. Alle aufgenommenen Messdaten dienen sowohl zur dreidimensionalen Rekonstruktion als auch zur Kalibrierung der Kameras. Dadurch entfällt eine explizite Kalibrierung mit Eichkörpern.

[0016] Hinzukommt, dass durch das sukzessive Umstellen der Kameras mit wenigen Kameras eine virtuell sehr viel größere Zahl von Kameras simuliert werden kann.

[0017] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den Zeichnungen dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben.

[0018] Es zeigen:

[0019] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum teilweise Erfassen und Vermessen eines dreidimensionalen Objektes gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0020] Fig. 2 ein Flussdiagramm des Verfahrens zum teilweise Erfassen und Vermessen einer Teilansicht eines Objektes gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0021] Fig. 3 ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Erfassen und Vermessen eines dreidimensionalen Objektes gemäß der vorliegenden Erfindung; und

[0022] Fig. 4 eine schematische Darstellung eines weiteren Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung ähnlich zu der Fig. 1.

[0023] Bezugnehmend auf die Fig. 1 wird ein Objekt 10, das ein dreidimensionaler Körper, aber auch eine beliebige Fläche eines Körpers, sein kann, mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. einer Vorrichtung 1 der aktiven Stereoskopie erfasst und vermessen, um dreidimensionale Informationen des Objektes 10 zu gewinnen. Durch das im folgenden beschriebene Verfahren und Vorrichtung können dreidimensionale Objektkoordinaten von Punkten, die auf der Oberfläche des Objektes 10 liegen, in einem dreidimensionalen Referenzkoordinatensystem  $x, y, z$  bestimmt werden. Hierzu weist die erfindungsgemäße Vorrichtung eine Lichtquelle 11 auf, die ein Lichtmuster auf einen Teilbereich des Objektes 10 projiziert. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist die Lichtquelle 11 ein optischer oder elektromagnetischer Strahler, insbesondere ein Laserstrahl oder eine fokussierte Weißlichtquelle, der einen punktförmigen Strahl aussendet und einen Lichtpunkt  $P_i$  auf der Oberfläche des Objektes markiert.

[0024] Obwohl im folgenden in Bezug auf die Lichtquelle 11 von einem punktförmigen Strahler gesprochen wird, kann die Lichtquelle 11 gemäß weiteren Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung auch ein quasi-punktförmiger Strahler sein, wobei zum Beispiel durch einen Laserstrahl ein Kreuz auf dem Objekt 10 projiziert wird, mit dem ein eindeutiger Punkt markiert wird. Ebenso könnte mittels eines Laserstrahls ein Kreis auf dem Objekt 11 projiziert werden, dessen Mitte einen eindeutigen Punkt markiert. Gemäß weiteren Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung könnte die Lichtquelle 11 ein optischer oder elektromagnetischer Strahler, punktförmig oder quasi-punktförmig sein, der viele Strahlen gleichzeitig aussendet, die entweder durch ihre Form, ihre Struktur oder ihre Farbe identifizierbar sind, zum Beispiel ein Projektor, der viele bunte Punkte projiziert, oder zum Beispiel ein Projektor, der viele Punkte in definierten, nicht gleichmäßigen Abständen projiziert. Es ist außerdem vorstellbar, dass die Lichtquelle ein flächig codiertes Muster abstrahlt, wobei das Muster diffus ist und über Korrelation oder Farbvergleich gleiche Bildpunkte des Projektionsmusters in Kamerabildern wiedergefunden werden, wobei das Muster ein buntes Muster oder ein unregelmäßiges Hell/Dunkelmuster sein kann. Schlussendlich könnte die Lichtquelle auch ein sequentiell codiertes Muster abstrahlen, wobei über eine Folge von Bildern ein mehrere Bildebenen tiefes Muster projiziert wird, das jedem Bildpunkt einen eindeutigen Code zuordnet. In den Bildern stellen Bildpunkte mit gleichem Code korrespondierende Punkte dar, wobei Gray-Code-Sequenzen, die in zwei Orientierungen (z. B. horizontal und vertikal) oder zum Beispiel Gray-Code in Verbindung mit Phasen-Shift-Verfahren, die zwei Orientierungen projiziert werden, auf das Objekt (10) abgebildet werden.

[0025] Die Vorrichtung 1 umfasst weiterhin zumindest zwei bildgebende Einheiten 12, 13. Die bildgebenden Einheiten 12, 13 sind Sensoren für optische oder elektromagnetische Signale, die digital oder analog mit einer Recheneinheit 14 gekoppelt werden können. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel sind die bildgebenden Einheiten 12, 13 vorzugsweise elektronische, pixelbasierte Farb- oder Schwarz-Weiß-Kameras, wie zum Beispiel CCD-Kameras oder CMOS-Kameras.

[0026] Gemäß weiteren Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung könnten die bildgebenden Einheiten jedoch auch Smartkameras sein, die Bildverarbeitungshardware on board haben und damit die Bildverarbeitung bereits in der Kamera selbst durchführen, so dass bereits ausgewertete Bilder an die Recheneinheit 14 übertragen werden.

[0027] Die Kameras 12, 13 werden so angeordnet, dass sie jeweils Teilbereiche des Objektes 10 beobachten, wobei sich die Teilbereiche der Kameras 12, 13 zumindest teilweise überlappen. Dabei liegt der durch die Lichtquelle 11 beleuchtete Punkt  $P_i$  auf dem Objekt 10 in dem sich überlappenden Bereich der Sichtfelder der Kameras 12, 13. Die Kame-

ras 12, 13 nehmen gleichzeitig Bildinformationen von dem Objekt 10 auf und liefern diese an die Recheneinheit 14. Die Recheneinheit 14 analysiert die Bildinformationen der Kamera 12 und bestimmt mittels bekannten Bildverarbeitungsalgorithmen die zweidimensionalen Koordinaten  $P_i (U_1, V_1)$  in dem zweidimensionalen Koordinatensystem  $U_1, V_1$  der Kamera 12. Ähnlich bestimmt die Recheneinheit 14 aus der gleichzeitig aufgenommenen Bildinformation der Kamera 13 die zweidimensionalen Koordinaten  $P_i (U_2, V_2)$  in dem zweidimensionalen Koordinatensystem  $U_2, V_2$  der Kamera 13.

[0028] Die 2-D-Koordinaten  $P_i (U_1, V_1)$  und  $P_i (U_2, V_2)$  werden gespeichert und zur Berechnung der Lage der Kameras zueinander und relativ zum Objekt (Selbstkalibrierung) als auch zur Vermessung und Erfassung, also zur dreidimensionalen Rekonstruktion des Objektes, verwendet.

[0029] Während des Messvorgangs wird die relative Position des Strahlers 11 zu dem Objekt 10 verändert, damit n unterschiedliche Punkte  $P_1, \dots, P_n$  auf dem Objekt 10 beleuchtet werden.

[0030] Bei dem Verfahren und der Vorrichtung der vorliegenden Erfindung kann die Lichtquelle bzw. der punktförmige Lichtstrahler 11 manuell durch den Benutzer während des Messvorgangs geführt werden. Der Benutzer (nicht dargestellt) strahlt das Objekt 10 mit einer punktförmigen Lichtquelle 11 an, wobei er den Lichtstrahl über das Objekt 10 schwenkt. Die Bereiche auf dem Objekt 10, die angestrahlt und von den Kameras 12, 13 erfasst werden, werden vermessen. Der Benutzer kann gezielt das Objekt 10 entsprechend der gewünschten Detailgenauigkeit anstrahlen und vermessen. Hierbei können Bereiche mit vielen oder wichtigen Details feiner angestrahlt werden, und Bereiche ohne relevante Informationen können grob angestrahlt werden.

[0031] Die Kameras 12, 13 nehmen während des Messvorgangs synchron Bildinformationen des Objektes 10 in schneller Folge (z. B. 30 Hz) auf und geben diese an die Recheneinheit 14 weiter. Die Recheneinheit 14 bestimmt wiederum die zweidimensionalen Koordinaten der Punkte  $P_{1, \dots, n} (U_1, V_1)$  und  $P_{1, \dots, n} (U_2, V_2)$  in den Koordinatensystemen der Kameras 12 und 13 und speichert diese ab.

[0032] Da die zweidimensionalen Koordinaten  $U_1, V_1$  und  $U_2, V_2$  der Punkte  $P_{1, \dots, n}$  aus korrespondierender Bildinformation der Kameras 12, 13 gewonnen wurden, müssen die beiden kameraspezifischen Koordinatensysteme  $U_1, V_1$  und  $U_2, V_2$  über eine Koordinatentransformation verknüpfbar sein. Genauer gesagt:

$$\begin{pmatrix} U_1 \\ V_1 \\ 1 \end{pmatrix}_{P_i} * M * \begin{pmatrix} U_2 \\ V_2 \\ 1 \end{pmatrix}_{P_i} \geq 0 \quad \text{für alle } i = 1, \dots, n$$

Gleichung (1)

wobei M eine Kalibrierungsmatrix ist; die auch als Epipolarmatrix bezeichnet wird und mit homogenen Koordinaten für die Punkte  $P_i$  gerechnet wird.

[0033] Gemäß bekannten algorithmischen Verfahren kann nun die Recheneinheit 14 die Einträge der Kalibrierungsmatrix M berechnen, und zwar so, dass in Abhängigkeit von den Koordinaten  $U_1, V_1$  und  $U_2, V_2$  die linke Seite der oberen Gleichung minimiert wird. Somit wird eine erste Kalibrierung des Systems gewonnen.

[0034] Das bei der vorliegenden Erfindung eingesetzte Verfahren zur Selbstkalibrierung wird in Thomas S Huang, "Determining Three-Dimensional Motion and Structure from Two Perspective Views", 1986, Handbook of Pattern Recognition and Image Processing", beschrieben.

[0035] Für das in Huang beschriebene Verfahren sind wenigstens 8 erfasste Bildpunkte  $P_i$  mit entsprechenden zweidimensionalen Koordinaten  $P_i (U_1, V_1)$  und  $P_i (U_2, V_2)$  notwendig (das Verfahren nennt sich daher 8-Point Algorithm).

[0036] Bei der vorliegenden Erfindung wird zunächst ebenfalls das 8-Punkte-Verfahren eingesetzt um eine anfängliche Kalibrierung zu gewinnen, bei zunehmender Genauigkeit der Kalibrierungen wird bevorzugterweise ein erweitertes, nichtlinear optimierendes Verfahren eingesetzt. Mathematisch gesehen liegt die Mindestzahl von erfassten Punkten für eine erfolgreiche Bestimmung der Kalibrierung bei 5. Tatsächlich wird aber erst ab ca. 20 Punkten mit der Kalibrierung begonnen, da aufgrund von Sensorrauschen erst dann eine ausreichende Fehlerunterdrückung erreicht wird.

[0037] Die Kalibrierung des Systems über die Kalibrierungsmatrix M wird kontinuierlich überwacht, und wird mit zunehmender Anzahl von gewonnenen Bildpunktkoordinaten  $P_{1, \dots, n} (U_1, V_1)$  und  $P_{1, \dots, n} (U_2, V_2)$  verbessert. Die Recheneinheit 14 überprüft bei steigender Anzahl von erfassten Bildpunkten ob eine bessere Kalibrierung gemäß obiger Gleichung gewonnen werden kann. Ist dies der Fall, wird die zunächst angenommene Kalibrierung verworfen und eine neue weitere Kalibrierung wird berechnet.

[0038] Dabei ist die Kalibrierung bis auf einen Skalierungsfaktor eindeutig. Der Skalierungsfaktor kann durch das Vorhandensein eines einer Kamera zugeordneten Entfernungsmessers bestimmt werden, so dass dreidimensionale Objektinformationen, die aus unterschiedlichen Kamerapositionen relativ zu dem Objekt gewonnen wurden, über den Skalierungsfaktor zu einander skalierbar sind und in das gleiche Koordinatensystem integriert werden können.

[0039] Ist eine Kalibrierung ausreichend stabil, d. h. die Veränderungen der Einträge in der kontinuierlich aktualisierten Kalibrierungsmatrix M unterschreiten einen vorbestimmten Schwellenwert wird die derzeitige Kalibrierungsmatrix  $M_0$  als Grundlage für die Kalibrierung des Systems angesehen und gespeichert. Die Recheneinheit 14 bestimmt die dreidimensionalen Objektkoordinaten  $x, y, z$  des Punktes  $P_i$  aus der Kalibrierungsmatrix  $M_0$  der Kalibrierung und den korrespondierenden zweidimensionalen Koordinaten  $P_i (U_1, V_1)$  und  $P_i (U_2, V_2)$ . Dies geschieht für bereits erfasste und abgespeicherte Punkte  $P_i$ , sowie für Punkte  $P_i$ , die zeitlich nach der Stabilisierung der Kalibrierung aufgenommen werden.

[0040] Wird eine alte Systemkalibrierung zu Gunsten einer neuen Systemkalibrierung aufgegeben, weil die Recheneinheit 14 bei der kontinuierliche Aktualisierung der Kalibrierungsmatrix M berechnet hat, dass eine neue Kalibrierungsmatrix  $M'$  eine bessere Kalibrierung des Systems bietet, wird die derzeitige Kalibrierungsmatrix  $M_0$  durch die neue Kalibrierungsmatrix  $M'$  ersetzt. Die dreidimensionalen Objektkoordinaten  $x, y, z$  des Punktes  $P_i$ , die gemäß der derzeitige

Kalibrierungsmatrix  $M_0$  berechnet wurden, werden nun gemäß der neuen Kalibrierung repräsentiert durch die neue Kalibrierungsmatrix  $M'$  aktualisiert bzw. neu berechnet.

[0041] Aus der Kalibrierungsmatrix  $M$  kann die relative Lage der Kameras zueinander in Form einer Translation und einer Rotation gewonnen werden. Damit lässt sich für jeden Bildpunkt  $P_i$  ein Projektionsstrahl berechnen. Der Schnittpunkt der Projektionsstrahlen zweier korrespondierender Bildpunkte  $P_i (U_1, V_1)$ ,  $P_i (U_2, V_2)$  ergibt den rekonstruierten Raumpunkt  $P_i (x, y, z)$ . Bei windschiefen Strahlen wird der Raumpunkt zur Rekonstruktion verwendet, der den beiden Projektionsstrahlen am Nächsten liegt.

[0042] Die so gewonnenen dreidimensionalen Koordinaten  $P_i (x, y, z)$  des Raumpunktes werden noch während des Ablaufes des Messvorgangs auf einem an die Rechereinheit 14 angeschlossenen Bildschirm 15 visualisiert. Die dreidimensionalen Punktkoordinaten werden hierfür in ein Oberflächenmodell umgerechnet und liefern dem Benutzer eine dreidimensionale visualisierte Rekonstruktion des Objektes 10 auf dem Bildschirm 15.

[0043] Das rekonstruierte Oberflächenmodell wird synthetisch eingefärbt um dem Benutzer hinweise zu geben, wo Punkte aufgenommen werden sollten, die zur Kalibrierung beitragen. Helle Farben bezeichnen Bereiche, die gut rekonstruiert wurden, dunkle Farben bezeichnen Bereiche, an denen noch mehr Daten zur Berechnung einer guten Kalibrierung notwendig sind.

[0044] Der Benutzer kann erkennen, welche Bereiche des Objektes 10 bereits ausreichend vermessen und erfasst sind, und welche Bereiche er mittels der Lichtquelle 11 noch detaillierter ausleuchten, und damit vermessen und erfassen muss.

[0045] Bezugnehmend auf die Fig. 2 wird nun der detaillierte Verfahrensablauf eines Messvorgangs zum Vermessen und Erfassen einer Ansicht des Objektes 10 beschrieben, wobei die Ansicht eines Objektes 10 die Bereiche des Objektes sind, die im sich überlappenden Sichtfeld der mindestens zwei Kameras 12, 13 liegen.

[0046] Der Messvorgang beginnt mit dem Schritt 20. In Schritt 21 werden zumindest zwei Kameras, wobei die Anzahl der Kameras jedoch beliebig hoch sein kann, so positioniert, dass sie das Objekt 10 aus jeweils verschiedenen Blickwinkeln beobachten. Hierbei ist zu beachten, dass sich die Sichtfelder der individuellen Kameras 12, 13 jedoch mindestens in einem Teilbereich überlappen. Im Schritt 22 wird die Lichtquelle 11 so relativ zum Objekt 10 positioniert, dass mittels des Lichtmusters zumindest ein Lichtpunkt  $P_i$ , der in den sich überlappenden Sichtfelder der Kameras 12, 13 auf dem Objekt 10 liegt (Schritt 23), auf dem Objekt 10 beleuchtet wird. Die Kameras 12, 13 nehmen bevorzugterweise synchron im Schritt 24 Bildinformation des Objektes 10 auf und geben diese in Schritt 25 an die Recheneinheit 14 weiter.

[0047] Die Recheneinheit 14 bestimmt in Schritt 26 die 2-D-Koordinaten des durch die Lichtquelle definierten Bildpunktes in den zeitgleich aufgenommenen Bildinformationen der jeweiligen Kameras mittels bekannten Verfahren der Bildverarbeitung und speichert diese 2-D-Koordinaten ab.

[0048] Das Verfahren schreitet sodann mit Schritt 27 fort und berechnet die 3-D-Koordinaten des aktuellen Bildpunktes  $P_i$  aus den entsprechenden 2-D-Koordinaten der Kameras 12 und 13 und der Kalibrierinformation der derzeitigen Kalibrierung. Liegt noch keine erste Kalibrierung vor, da z. B. der Messvorgang gerade erst begonnen hat, werden die 2-D-Koordinaten zur späteren Berechnung gespeichert. Im Schritt 27 wird auch festgestellt, ob sich die Kalibrierung verändert hat. Ist dies der Fall werden die bis jetzt mit der alten Kalibrierung gewonnen Objektkoordinaten basierend auf der neuen Kalibrierung aktualisiert bzw. neu berechnet.

[0049] In Schritt 28 werden die bis jetzt gewonnenen 3D-Koordinaten der Punkte  $P_i$  auf dem Bildschirm 15 visualisiert, wobei dem Benutzer durch Einfärbung zusätzliche Information über die Genauigkeit der jetzigen Kalibrierung gegeben werden kann. Ein Gütemaß für die Qualität der Kalibrierung ist zum Beispiel durch den Restbetrag der Gleichung (1) gegeben, aber auch durch einen möglichen Abstand der Projektionsstrahlen eines Bildpunktes  $P_i$  zueinander, der bei der Bestimmung der dreidimensionalen Objektkoordinaten des Punktes  $P_i$  aus den 2D-Koordinaten und der Kalibrierinformation auftreten kann.

[0050] Im Schritt 29 wird überprüft, ob die derzeitige Kalibrierung verbessert werden kann, d. h. die Recheneinheit 14 prüft, ob mit steigender Anzahl von beobachteten Lichtpunkten auf dem Objekt 10, und deren jeweiligen kameraspezifischen 2D-Koordinaten, es nicht eine bessere, alternative Kalibrierung gibt als die derzeitige. Ist dies der Fall schreitet das Verfahren mit Schritt 30 voran. Ist die derzeitige Selbstkalibrierung jedoch weiterhin die optimale, so schreitet das Verfahren mit Schritt 32 voran.

[0051] In Schritt 30 aktualisiert die Recheneinheit 14 die Selbstkalibrierung, und integriert ggf. neue aufgenommene Punkt  $P_i$  mit den jeweiligen kameraspezifischen 2D-Koordinaten in die Berechnung der Kalibrierinformation. Danach fährt das Verfahren mit Schritt 31 fort.

[0052] In Schritt 32 dagegen wird überprüft, ob die Ansicht des Objektes ausreichend erfasst wurde. Eine Vielzahl von Kriterien ist für die Bestimmung, ob das Objekt ausreichend erfasst wurde, vorgesehen. Einerseits kann der Benutzer anhand der visualisierten bereits gewonnenen 3D-Koordinaten überprüfen, ob eine ausreichende Dichte der 3D-Koordinaten des Objektes erlangt wurde, andererseits können Abbruchkriterien, wie zum Beispiel eine erreichte Höchstzahl von erfassten Bildpunkten, oder eine überschrittene durchschnittliche Punktedichte der erfassten 3D-Objektkoordinaten eingesetzt werden. Ist das Objekt ausreichend erfasst, wird der Messvorgang bei 33 beendet.

[0053] Ist das Objekt jedoch nicht ausreichend erfasst, folgt Schritt 31 des Messvorgangs. In Schritt 31 wird die relative Position der Lichtquelle 11 zu dem Objekt 10 verändert, so dass ein weiterer Punkt  $P_i$  auf dem Objekt 10 in dem sich überlappenden Bereich der Sichtfelder der Kameras 12, 13 auf dem Objekt 10 beleuchtet und somit definiert wird.

[0054] Das Verfahren kehrt somit zu Schritt 23 zurück um im Folgenden einen weiteren Punkt  $P_i$  zu erfassen und zu vermessen. Die Schritte 23 bis 32 werden schlussendlich solange wiederholt bis im Schritt 32 eine ausreichende Erfassung und Vermessung des Objektes festgestellt wird.

[0055] Bezugnehmend auf die Fig. 3 wird eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung beschrieben, in der während des Messvorgangs auch die Positionen der Kameras 12, 13 verändert werden können, um andere Ansichten des Objektes in dem Messvorgang aufzunehmen. Die Schritte 20b bis 32b der Fig. 3 sind identisch mit den Schritten 20 bis 32 der Fig. 2. Wenn in Schritt 31b jedoch bestimmt wird, dass die Ansicht des Objektes ausreichend erfasst ist, wird im Gegensatz zu dem unter Bezugnahme auf die Fig. 2 beschriebenen Ausführungsbeispiel der Messvorgang nicht be-

endet, sondern es wird weiter im Schritt 34b geprüft, ob das Objekt an sich ausreichend, d. h. von einer ausreichenden Zahl von Blickwinkeln her, erfasst wurde. Ist das Objekt 10 nicht ausreichend erfasst, schreitet der Messvorgang mit Schritt 35b voran. In Schritt 35b wird die relative Position der Kameras 12, 13 zu dem Objekt 10 verändert, um eine andere Ansicht des Objektes 10 durch die Kameras 12, 13 zu beobachten und gemäß der Schritte 23b bis 32b zu vermessen und zu erfassen.

[0056] Beim Verändern der Position der Kameras ist zu beachten, dass wenigstens eine Kamera als Referenzsystem bei jedem Durchlaufen des Schrittes 35b ortsfest verbleibt. Die ortsfesten Kameras dieses Schrittes stellen sicher, dass die Punkte  $P_i$ , die bei einer neuen Ansicht nach dem Umstellen und nach einer aktualisierten Kalibrierung erfasst werden, im gleichen Koordinatensystem  $x, y, z$  wie die bisherigen Ansichten aufgenommen werden.

[0057] Beim Umstellen der Kameras ist zu beachten, dass die Kameras unperiodisch umgestellt werden sollten, also nicht nach einem festen oder regelmäßigen Muster. Dies wirkt sich vorteilhaft bei der Fehlerfortpflanzung zwischen der Vermessung und Erfassung von einzelnen Teilansichten aus.

[0058] Nach Schritt 35b kehrt der Messvorgang zu Schritt 22b zurück, und im folgenden werden die Schritte 23b bis 32b solange durchlaufen bis die neue Ansicht ausreichend erfasst wurde. Der Messvorgang wird gemäß der Schritte 22b bis 35b wiederholt, bis das gesamte Objekt 10 ausreichend erfasst ist. Im Schritt 34b wird dann festgestellt, dass der Messvorgang bei 36b beendet werden soll.

[0059] Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird das Objekt 10 (siehe Fig. 1) auf einem Drehteller positioniert. Während des Messvorganges zum Erfassen und Vermessen des Objektes kann dann durch Drehen des Drehtellers die relative Position der Kameras 12, 13 zu dem Objekt verändert werden, um eine neue Teilansicht des Objektes 10 zu vermessen und zu erfassen, wobei jedoch weiterhin die Lichtquelle 11 per Hand geführt wird.

[0060] Abwandlungen der Verfahrensschritte sind natürlich im Rahmen fachmännischen Handelns möglich. Zum Beispiel ist die Reihenfolge der verschiedenen Schritte in den Fig. 2 und 3 nicht notwendigerweise zwingend. So könnte beispielsweise der Visualisierungsschritt 28(b) durchaus zu einem anderen Zeitpunkt bezüglich der Schritte 22b bis 32b stattfinden.

[0061] Bei einem weiteren in der Fig. 4 dargestellten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung kann das erfindungsgemäße Verfahren zum Erfassen und Vermessen eines Objekts, wie es unter Bezugnahme auf die Fig. 1 bis 3 beschrieben wurde, lediglich mit einer Ortungskamera 13 und einer als Projektor ausgestalteten Lichtquelle 11B durchgeführt werden.

[0062] Das Ausführungsbeispiel der Fig. 4 ist identisch zu den vorherigen mit der Ausnahme, dass eine der Ortungskameras 12 fehlt und dass die Lichtquelle in der Form eines Projektors 11B ausgestaltet ist. Der Projektor 11B projiziert eine horizontale und eine vertikale Gray-Code-Sequenz auf das Objekt 10. Technisch gesehen wird der Projektor 11B als eine sogenannte inverse Kamera interpretiert.

[0063] Die Codes der Gray-Code-Sequenz im Bild der Kamera 13 können direkt als "Pixelkoordinaten" des Projektors 11B interpretiert werden, so daß die 2D-Bildkoordinaten, die in den vorherigen Ausführungsbeispielen durch die zweite Ortungskamera 12 geliefert wurden, nunmehr ebenfalls aus der Bildinformation der einzigen Ortungskamera 13, sei es durch die Ortungskamera 13 selbst oder mittels einer Analyse der Bilddaten durch die Recheneinheit 14, bestimmt werden. Für die Bestimmung der "Pixelkoordinaten" des Projektors müssen die Abbildungseigenschaften des Projektors 11B bekannt sein und müssen mit in die Bestimmung einfließen. Die Stereokalibrierung kann somit, wie zuvor bezüglich der Fig. 1 bis 3 beschrieben, durchgeführt werden um eine Vermessung und Erfassung des Objektes 10 zu realisieren.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Durchführung eines Messvorgangs zum mindestens teilweisen Erfassen und Vermessen einer Oberfläche von mindestens einem dreidimensionalen Objekt (10) (Oberfläche) oder von beliebigen Flächen, wobei

mittels einer Lichtquelle (11) ein Lichtmuster auf dadurch beleuchtete Teilbereiche des Objektes (10) oder der Fläche projiziert wird und

mittels mindestens zwei bildgebenden Einheiten (12, 13) von unterschiedlichen Positionen aus, derart dass das Lichtmuster in dem überlappenden Sichtbereich der mindesten zwei bildgebenden Einheiten (12, 13) liegt, jeweils zweidimensionale Bildinformationen der zu vermessenden Oberfläche geliefert werden

und aus der zweidimensionalen Bildinformation dreidimensionale Objektinformationen ermittelt werden,

**dadurch gekennzeichnet** dass,

die beleuchteten Teilbereiche von den mindestens zwei bildgebenden Einheiten (12, 13) gleichzeitig beobachtet werden,

die von den bildgebenden Einheiten (12, 13) durch die Beobachtungen gewonnene jeweilige zweidimensionale Bildinformation an eine Recheneinheit (14) übertragen wird,

die Recheneinheit (14) aus den zweidimensionalen Bildinformationen kontinuierlich sowohl durch eine Selbstkalibrierung Kalibrierinformation für die bildgebenden Einheiten (12, 13) als auch dreidimensionale Objektinformationen berechnet, und

die relative Positionierung der Lichtquelle (11) zu dem Objekt (10) während des Beobachtens verändert wird um verschiedenen Teilbereiche des Objektes (10) zu beleuchten.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die vollständige Erfassung des Objektes (10) oder der Fläche durch sukzessive Veränderung der relativen Lage der bildgebenden Einheiten (12, 13) gegenüber dem Objekt (10) durchgeführt wird, wobei die Selbstkalibrierung der bildgebenden Einheiten (12, 13) laufend aktualisiert wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass zum sukzessiven Verändern der relativen Lage der bildgebenden Einheiten (12, 13) gegenüber dem Objekt (10) eine oder mehrere der bildgebenden Einheiten (12, 13) umgestellt werden, wobei wenigstens eine bildgebende Ein-

heit (12, 13) als Referenzsystem in jedem Fall des Umstellens (Umstellschritt) ortsfest verbleibt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 3 wobei die bildgebenden Einheiten (12, 13) umgestellt werden um den Sichtbereich der bildgebenden Einheiten (12, 13) zu variieren nachdem ein Sichtbereich (Ansicht) des Objekts (10) durch die bildgebenden Einheiten (12, 13) ausreichend erfasst und vermessen wurde, wobei nach dem Umstellen der Messvorgang fortgesetzt wird, hierbei stellen die ortsfesten bildgebenden Einheiten im Fall des Umstellens (Umstellschritt) sicher, dass die neue Ansicht des Objektes im gleichen dreidimensionalen Koordinatensystem wie die bisherigen Ansichten aufgenommen werden, wobei die Schritte des Umstellens und des Erfassens und Vermessens einer Ansicht des Objektes (10) solange fortgeführt wird bis das gesamte Objekt (10) erfasst und vermessen ist.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die aktuellen Ergebnisse des Erfassens und Vermessens, d. h. die dreidimensionale Objektinformation simultan während des Messvorgangs in ein Oberflächenmodell umgerechnet werden und online mittels eines Bildschirms (15) visualisiert werden um die Lichtquelle (11) basierend auf die visualisierte, bis jetzt erfolgte Erfassung zu steuern insbesondere hinsichtlich Position und/oder Helligkeit.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle (11) manuell geführt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle (11) ein Laserpointer ist und das Lichtmuster durch punktförmiges Anstrahlen des Objektes (10) erzeugt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Recheneinheit (14) die zweidimensionalen Bildinformationen der beiden bildgebenden Einheiten (12, 13) in schneller Folge (z. B. 30 Hz) aufnimmt.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Recheneinheit (14) in korrespondierenden (d. h. gleichzeitig durch die bildgebenden Einheiten aufgenommen) Bildinformationen der bildgebenden Einheiten (12, 13) die Reflexion des Lichtmusters auf dem Objekt (Stereokorrespondenzen) detektiert.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Genauigkeit der Stereokorrespondenzen durch subpixelgenaue Verfahren, z. B. durch Schwerpunktbildung erhöht wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens Bildinformation einer bildgebenden Einheit, vorzugsweise aber Bildinformation jeder bildgebenden Einheit, gespeichert wird und zur Texturierung einer dreidimensionalen Rekonstruktion des Objektes dient.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Lichtquelle (11) ein optischer oder elektromagnetischer Strahler, der einen punktförmigen Strahl aussendet, verwendet wird, wie zum Beispiel ein Laserstrahler oder eine fokussierte Weißlichtquelle.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein quasi-punktförmiger Strahler als Lichtquelle (11) eingesetzt wird mit dem ein eindeutiger Punkt definiert wird, wie z. B. Laserstrahler, die ein Kreuz projizieren, mit dem ein eindeutiger Punkt markiert wird oder Laserstrahler, die einen Kreis projizieren, dessen Mitte einen eindeutigen Punkt markiert.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 11 und 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Strahler viele Strahlen gleichzeitig aussendet, die entweder durch ihre Form, ihre Struktur oder ihre Farbe identifizierbar sind wie z. B. ein Projektor, der viele bunte Punkte projiziert oder ein Projektor, der viele Punkte in definierten, nicht gleichmäßigen Abständen projiziert.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle (11) ein flächig codiertes Lichtmuster aussendet, wobei das Lichtmuster diffus ist und über Korrelation oder Farbvergleich gleiche Bildpunkte des Lichtmusters in den Bildern der bildgebenden Einheiten (12, 13) wiedergefunden werden können wie z. B. ein buntes Muster oder ein unregelmäßiges Hell-Dunkel-Muster.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle (11) ein sequentiell codiertes Lichtmuster projiziert und über eine Folge von Bildern ein mehrere Bildebenen tiefes Lichtmuster projiziert wird, das jedem Bildpunkt einen eindeutigen Code zuordnet, wobei in den Bildern Bildpunkte mit gleichem Code korrespondierende Punkte darstellen, wie z. B. Gray-Code-Sequenzen, die in zwei Orientierungen (z. B. horizontal und vertikal) auf das Objekt projiziert werden oder ein Gray-Code in Verbindung mit Phasen-Shift-Verfahren, die in zwei Orientierungen auf das Objekt (10) projiziert werden.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Laser als Lichtquelle (11) verwendet wird.

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle (11) eine fokussierte Weißlichtquelle ist.

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Messvorgang zum Erfassen und Vermessen einer Ansicht des Objekts weiter folgende Schritte aufweist:

die Selbstkalibrierung wird mit einer handgeführten Lichtquelle (11) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche durchgeführt,

die Vermessung und Erfassung wird mit einem handgeführten, zur Linie aufgeweiteten Strahler durchgeführt, wobei gleiche Punkte in korrespondierenden Bildinformation über die sogenannten Epipolargeometrie berechnet werden, wobei für jeden detektierten Bildpunkt der Laserlinie in einer Bildinformation über den Schnitt der Epipolarlinie mit der detektierten Laserlinie in allen anderen Bildinformationen Korrespondenzen berechnet werden.

20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Vermessung und Erfassung einer Ansicht wahlweise mit jedem optischen oder elektromagnetischen



Strahler, der einen zur Linie aufgeweiteten Strahl aussendet, z. B. einem Linienlaser oder einer Weißlichtquelle mit Schlitzblende und Fokussieroptik durchgeführt wird.

21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Vermessung und Erfassung viele parallele Linien gleichzeitig ausgestrahlt werden, wobei die Zuordnung der richtigen Schnittpunkte von Epipolarlinie und detektierten Laserlinien durch Abzählen geschieht, z. B. einem Linienmuster mit sinusförmigem Intensitätsprofil.

22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Vermessung und Erfassung viele parallele Linien gleichzeitig ausgestrahlt werden, die über ihre Form, Struktur oder Farbe unterschieden werden können, wobei die Zuordnung der richtigen Schnittpunkte von Epipolarlinie und detektierten Laserlinien durch Vergleich von Form, Struktur oder Farbe dient, wie z. B. Linien mit den Farben des Farbspektrum oder ein durchgehendes Farbspektrum oder wie z. B. Linien unterschiedlicher Helligkeit oder Breite.

23. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Vermessung und Erfassung ein sequentiell codiertes Linienmuster ausgestrahlt wird, dass viele Linien über die Folge der Bildinformationen mit unterschiedlichen, mehrere Bildebenen tiefen Codes vorsieht, wobei die Zuordnung der richtigen Schnittpunkte von Epipolarlinie und detektierten Laserlinien über den Vergleich des Liniencodes geschieht, z. B. einer Gray-Code-Sequenz oder einer Gray-Code-Sequenz in Verbindung mit einem Phasen-Shift-Verfahren.

24. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Vermessung und Erfassung ein flächig codiertes Muster eingesetzt wird, wobei die Kodierung des Musters über Form, Struktur oder Farbe geschieht, und wobei in einer Bildinformation das Muster identifiziert wird und korrespondierende Stellen in anderen Bildinformationen über Korrelation entlang der Epipolarlinien gesucht werden, z. B. ein buntes Muster oder ein unregelmäßiges Hell-Dunkel-Muster.

25. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet dass als bildgebende Einheiten (12, 13) Sensoren für optische o. elektromagnetische Signale verwendet werden, die digital oder analog mit der Recheneinheit (14) koppelbar sind.

26. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet dass vorzugsweise elektronische, pixelbasierte Farb- oder Schwarz-Weiß- wie CCD-Kameras oder CMOS-Kameras als bildgebende Einheiten (12, 13) verwendet werden.

27. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als bildgebende Einheiten (12, 13) Smart-Kameras, die Bildverarbeitungshardware on board haben und damit die Bildverarbeitung bereits on board durchgeführt werden kann, eingesetzt werden, wobei an die Recheneinheit (12, 13) nur noch die ausgewerteten Bilder übertragen werden.

28. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Drehteller verwendet wird um sukzessiv die Lage der bildgebenden Einheiten (12, 13) relativ zu dem Objekt (10) zu verändern.

29. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehachse des Tellers über einen einfachen Kalibrierkörper bestimmt wird, z. B. eine Stange, die in die Drehachse des Teller gesteckt wird und in den Bildinformationen der bildgebenden Einheiten (12, 13) wieder erkennbar ist und wobei über die bekannte Größe des Drehtellers oder des Kalibrierstabes die Skalierung des Systems berechnet werden kann.

30. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jede angetriebene oder nicht angetriebene Mechanik, die das Objekt (10) linear oder rotierend oder in einer anderen definierten Weise im Sichtfeld der Kameras bewegen kann verwendet wird, wobei bei solchen Positioniersystemen über die bekannte Lage der eingestellten Positionen die Skalierung des Systems berechnet werden kann, z. B. Drehbank oder Roboterarm-Positioniersystem.

31. Verfahren zur Durchführung eines Messvorgangs zum mindestens teilweisen Erfassen und Vermessen einer Oberfläche von mindestens einem dreidimensionalen Objekt (10) (Objektoberfläche) oder von beliebigen Flächen, wobei

mittels einer Lichtquelle (11) ein Lichtmuster auf dadurch beleuchtete Teilbereiche des Objektes (10) oder der Fläche projiziert wird und

mittels mindestens einer bildgebenden Einheit (13) von unterschiedlichen Positionen aus zweidimensionalen Bildinformationen der zu vermessenden Objektoberfläche geliefert wird

und aus der zweidimensionalen Bildinformation dreidimensionale Objektinformationen ermittelt werden, die beleuchteten Teilbereiche von der mindestens einen bildgebenden Einheiten (13) beobachtet wird,

dadurch gekennzeichnet dass,

die von der bildgebenden Einheit (13) durch die Beobachtung gewonnene zweidimensionale Bildinformation an eine Recheneinheit (14) übertragen wird,

wobei durch das Lichtmuster Pixelkoordinaten der Lichtquelle definiert werden, die durch Analyse der zweidimensionalen Bildinformation der bildgebenden Einheit (13) wiedergewonnen werden und zusätzliche zweidimensionale Bildinformation einer virtuellen, inversen bildgebenden Einheit (11B) erzeugen,

die Recheneinheit (14) aus den zweidimensionalen Bildinformationen und der zusätzlichen zweidimensionalen Bildinformation kontinuierlich sowohl durch eine Selbstkalibrierung Kalibrierinformation für die bildgebende und die virtuelle, inverse bildgebende Einheit (13) als auch dreidimensionale Objektinformationen berechnet, und die relative Positionierung der Lichtquelle (11) zu dem Objekt (10) während des Beobachtens verändert wird um verschiedene Teilbereiche des Objektes (10) zu beleuchten.

32. Vorrichtung zur Durchführung eines Messvorgangs zum mindestens teilweisen Erfassen und Vermessen einer Oberfläche von mindestens einem dreidimensionalen Objekt (10) (Objektoberfläche) oder von beliebigen Flächen,



die  
 eine Lichtquelle (10) zum Projizieren eines Lichtmusters auf dadurch beleuchtete Teilbereiche des Objektes (11)  
 oder der Fläche,  
 mindestens zwei bildgebenden Einheiten (12, 13), die von unterschiedlichen Positionen aus, derart dass das Licht-  
 muster in dem überlappenden Sichtbereich der mindestens zwei bildgebenden Einheiten (12, 13) liegt, jeweils zwei- 5  
 dimensionale Bildinformationen der zu vermessenden Objektoberfläche liefern  
 aufweist und aus der zweidimensionalen Bildinformation dreidimensionale Objektinformationen ermittelt,  
 dadurch gekennzeichnet, dass  
 mindestens zwei bildgebenden Einheiten (12, 13) gleichzeitig die beleuchteten Teilbereiche beobachtet,  
 zwei bildgebenden Einheiten (12, 13) mit einer Recheneinheit (14) gekoppelt sind, um die von den bildgebenden 10  
 Einheiten (12, 13) durch die Beobachtungen gewonnene jeweilige zweidimensionale Bildinformation an eine Re-  
 cheneinheit (14) zu übertragen,  
 die Recheneinheit (14) aus den zweidimensionalen Bildinformationen kontinuierlich sowohl durch Selbstkalibrie-  
 rung Kalibrierinformation für die bildgebenden Einheiten (12, 13) (Selbstkalibrierung) als auch dreidimensionale 15  
 Objektinformationen berechnet, und  
 die relative Positionierung der Lichtquelle (11) zu dem Objekt (10) während des Beobachtens veränderlich ist um  
 verschiedenen Teilbereiche des Objektes (10) zu beleuchten.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

20

25

30

35

40

45

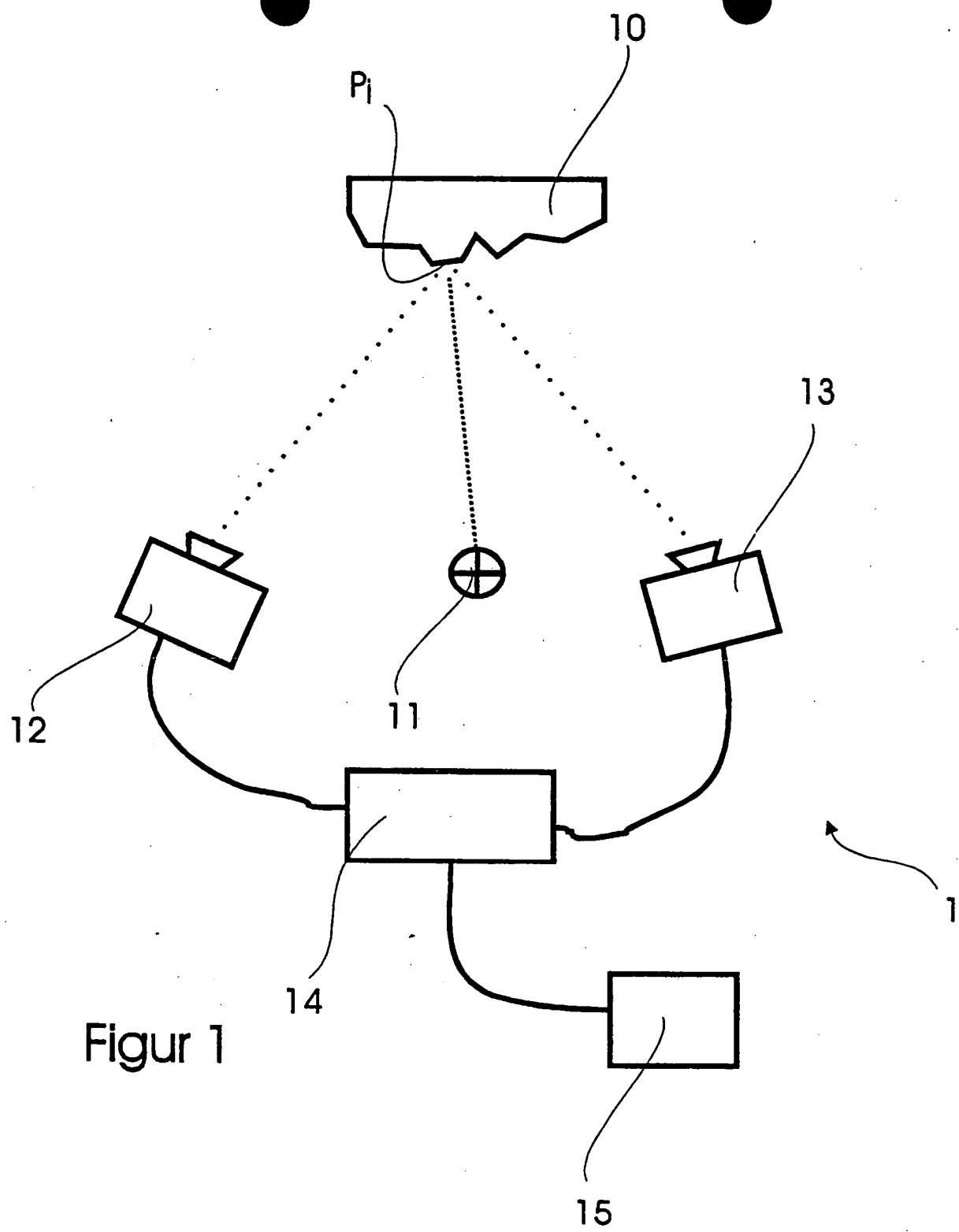
50

55

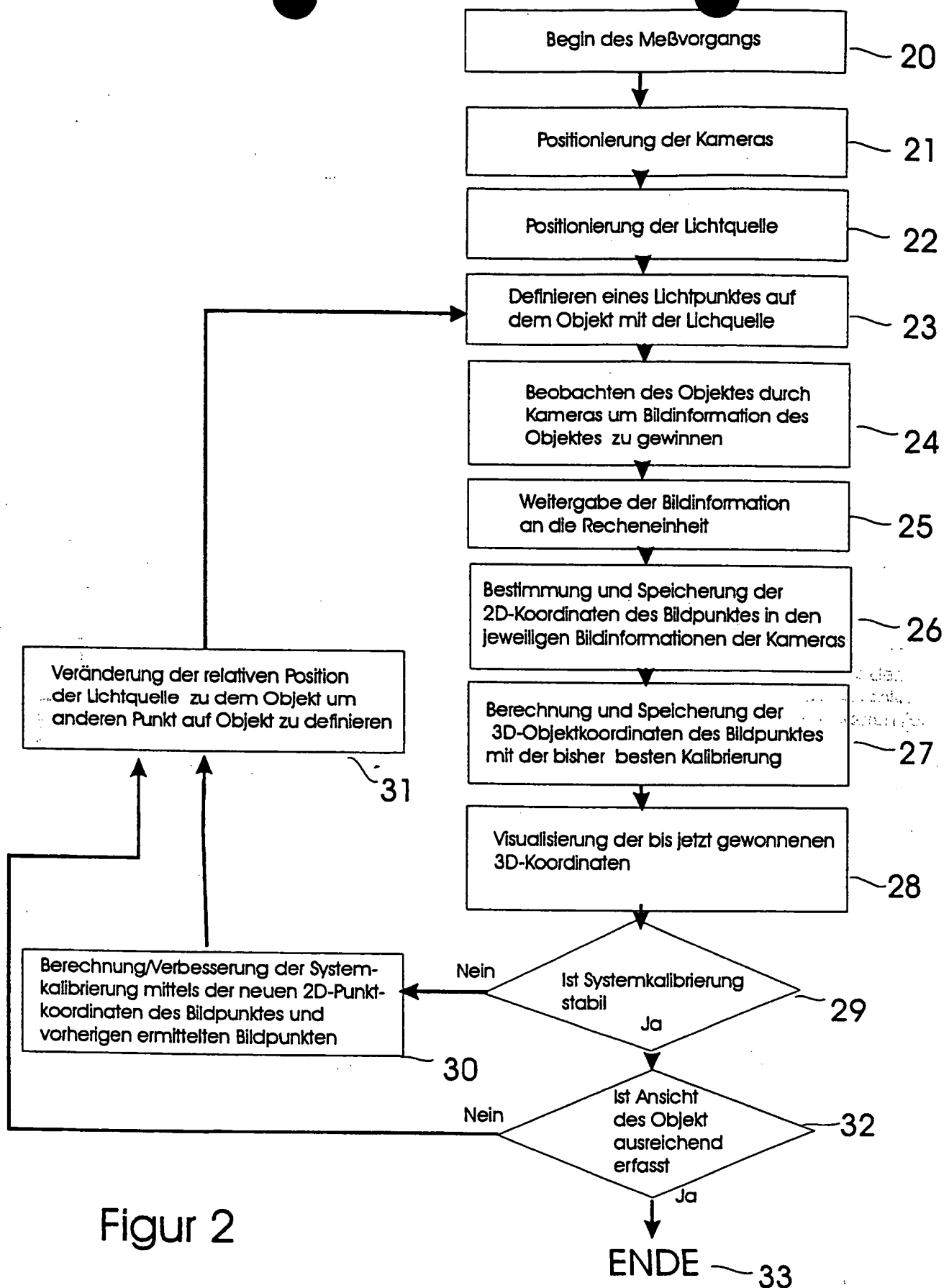
60

65

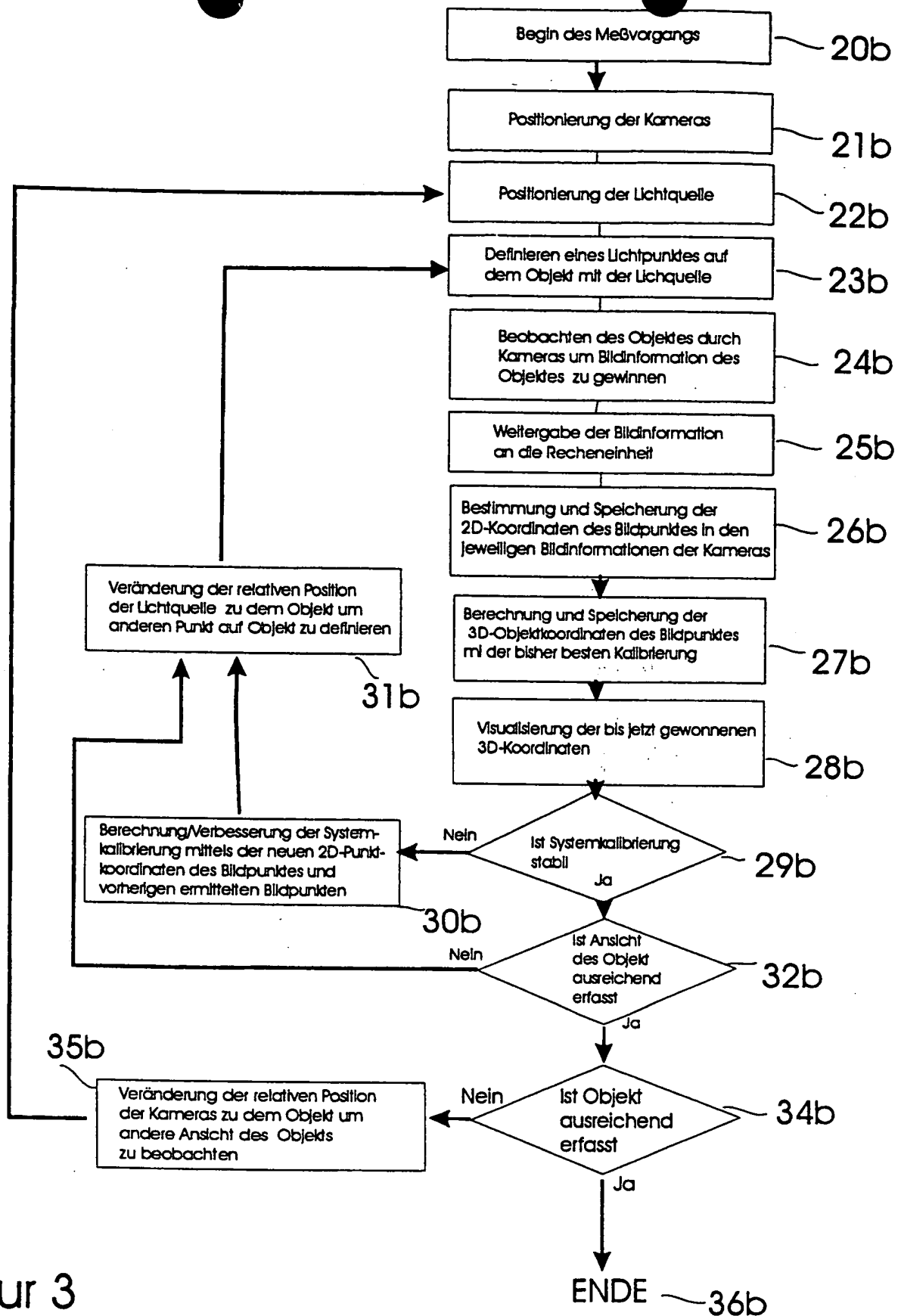
- Leerseite -



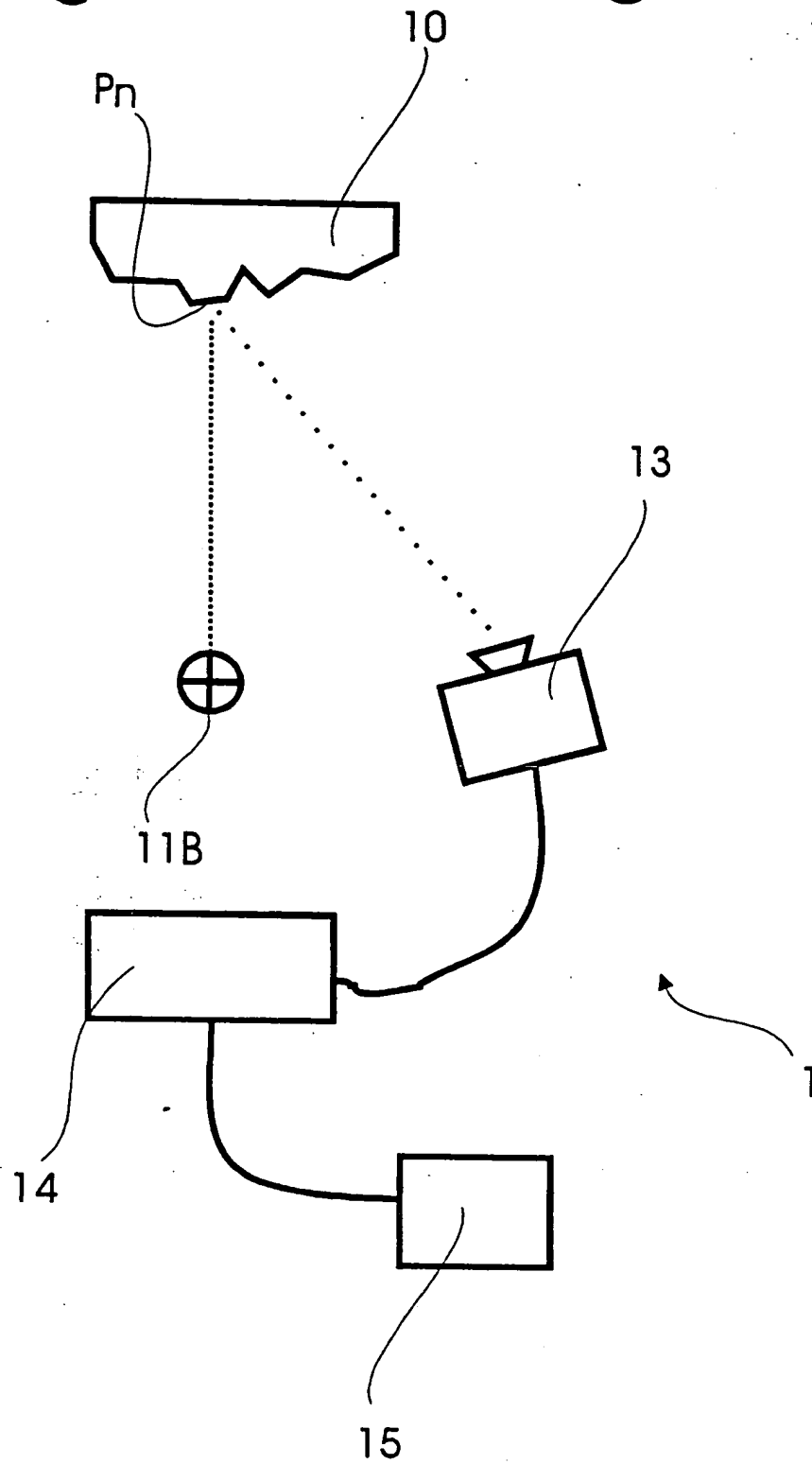
Figur 1



Figur 2



Figur 3



Figur 4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**